

University of West Bohemia in Pilsen
Department of Computer Science and Engineering
Univerzitni 8
30614 Pilsen
Czech Republic

Optická laboratoř

Technical report

Martin Janda, Ivo Hanák, Václav Skala

Technical Report No. DCSE/TR-2007-10
December, 2007

Distribution: public

Technical Report No. DCSE/TR-2007-10
December, 2007

Optická laboratoř

Martin Janda, Ivo Hanák, Václav Skala

Abstract

Tento dokument je zprávou o řešení aktivity 7ZHO07.

This work has been partially supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic under the research program LC-06008 (Center for Computer Graphics). This work has been partially supported by the EU project EU within FP6 under Grant 511568 with the acronym 3DTV

Copies of this report are available on
<http://www.kiv.zcu.cz/publications/>
or by surface mail on request sent to the following address:

University of West Bohemia in Pilsen
Department of Computer Science and Engineering
Univerzitni 8
30614 Pilsen
Czech Republic

Copyright (C) 2006 University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic

Authors hereby declare that this is their own work and all materials are properly cited.

Obsah

1	Úvod	1
2	Umístění OL	2
3	Zdroj laserového záření	3
4	Optické a mechanické komponenty	4
5	Bezpečnost práce	6
6	Holografický balíček	7
7	Závěr	8
A	Provozní řád OL	10
B	Schválení provozního řádu OL	12
C	Úpravy místnosti UV216	13
D	Zdroj laserového záření	16
E	Optická lavice	20
F	Optické rekonstrukce	24

Kapitola 1

Úvod

Vzhledem k povaze výzkumu probíhajícího v rámci holografické skupiny je nutné mít k dispozici optickou laboratoř (dále jen OL), která umožní provádět základní úkony holografie jako je záznam optických hologramů, rekonstrukce digitálních hologramů, experimentální ověřování výsledků apod. Vzhledem k absenci takové laboratoře na ZČU, byla na rok 2007 naplánována aktivita 7ZHO07 jejíž cílem bylo takovou OL zařídit.

Hlavní body využití OL:

1. ověření metod syntézy digitálních hologramů,
2. záznam optických hologramů,
3. demonstrace holografických principů,
4. propagace pracoviště.

K uspokojení našich nároků na OL a nároků kladených na OL bezpečnostními předpisy [Nar] bylo nutné zajistit následující položky:

1. umístění OL,
2. zdroj laserového záření,
3. optika pro úpravu a řízení laserového paprsku,
4. mechanické součásti pro uchycení a manipulaci s optickými komponentami,
5. bezpečnost práce v OL.

Kapitola 2

Umístění OL

Vzhledem k povaze experimentů prováděných v OL je nutné zabezpečit dva klíčové body:

- zatemnění,
- bezpečnost práce.

Ke splnění obou bodů je zapotřebí samostatné místnosti, která je bez oken nebo s možností dokonalého zatemnění a která umožňuje zamezit fyzickému přístupu nepovolaným osobám.

Prvním dočasným řešením bylo skladiště s vyřazenou elektronikou, UU401b. Místnost je bez oken, tzn. že první bod je dokonale splněn. Dále je do ní omezen přístup a tím byl splněn i druhý bod. Místnost byla uklizena a vybavena optickou izolací z černé látky, která zakryla vyřazenou elektroniku a tím zamezila nechtěným a potenciálně nebezpečným odrazům laserového záření. Toto řešení však bylo pouze dočasné, neboť plánované další využití místnosti ze strany KIV bylo neslučitelné s naším využitím. Místnost skladiště byla využívána přibližně 7 měsíců, pak byla našemu pracovišti přidělena místnost UV216.

Místnost UV216 poskytuje pracovní prostor min. pro tři výzkumné pracovníky. Dále jak je vidět z orientačního plánu v příloze C je její součástí menší místnost, která plně vyhovuje potřebám naší OL. Protože však byla místnost původně využívána k jiným účelům bylo nutné provést nejprve několik úprav. Úpravy zahrnovaly úpravu elektrických rozvodů, instalaci řádné datové sítě, malířské a podlahové práce. Detailní popis úprav je popsán v příloze C. Úpravy byly dokončeny k 1. 9. 2007 a vybavení původní místnosti UU401b bylo přesunuto do nových prostor. Prostory OL byly opět upraveny černým potahem a opatřeny normovanými bezpečnostními tabulkami, konkrétně tabulkou "Laserové záření" a tabulkou "Nepovolaným vstup zakázán".

Kapitola 3

Zdroj laserového záření

Pro holografii je klíčovým prvkem zdroj laserového záření [Har96] a je proto také klíčovým vybavením naší OL. Z důvodů nedostatku finančních prostředků na technické vybavení nebylo pořízení profesionálního vybavení přesahující částku £1000 řešením. Bylo proto zvoleno levnější řešení sestávající se z laserového ukazovátka 658 nm 100 mW od fy. Wicked Lasers, které bylo zakoupeno na závěr roku 2006 za \$160, viz obr. D.1, nahoře. Vzhledem ke svému deklarovanému výkonu, tento zdroj již spadá do třídy nebezpečnosti IIIb [Las] a je zdraví nebezpečné. Vyšší výkon laserového paprsku se však uplatní hlavně pro aplikace, kdy je nutné laserový paprsek roztáhnout do většího průměru.

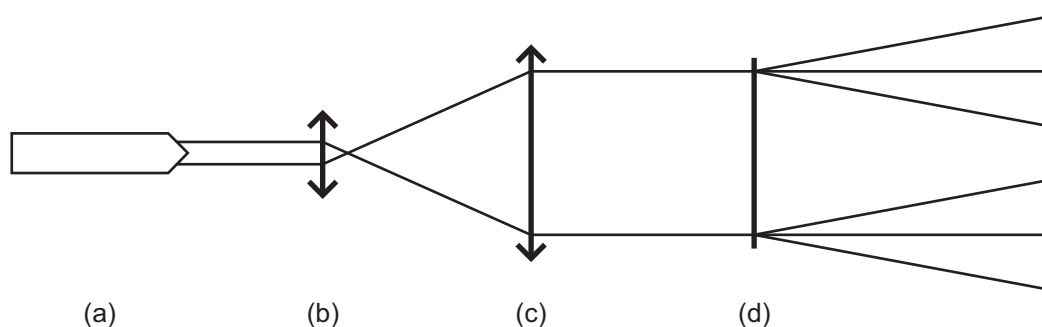
Ukazovátka je napájeno bateriově. Výrobce udává dobu, po kterou je ukazovátka schopné dodávat stálý výkon, je 10 minut. To se nám jevílo nedostatečné a proto jsme navrhli nástavec, který se vloží do ukazovátka místo baterií a umožní připojit ukazovátka k zdroji schopného dodávat požadované napětí a proud po delší dobu. Návrh nástavce je uveden na obr. D.2 a zhotovený výrobek na obr. D.3. Jak už bylo zmíněno, laserové ukazovátka spadalo do nebezpečné třídy IIIb a proto byl sestaven uzamykatelný zdroj elektrického napětí, aby se zamezil přístup neoprávněných osob. Schéma je uvedeno na obr. D.4 a fotografie sestaveného zdroje je na obr. D.5. Zdroj je vybaven uzamykatelným hlavním spínačem s LED indikací a speciálním spínačem pro zástrčku. Barva a intenzita LED indikace byla volena taková, byla zjistitelná i skrze ochranné prostředky pro vlnovou délku laseru.

Funkčnost zdroje jsme ověřili připojením slabšího ukazovátka 5 mW, vlnové délky 635 nm, obr. D.1, dole. Při pokusu o připojení laserového ukazovátka 100 mW jsme zjistili, že jeho konstrukce nebyla uzpůsobena pro připojení tvrdého zdroje napětí a po připojení ke zdroji došlo k trvalému poškození laserové diody. Poškození diody bylo zapříčiněno absencí řídicí elektroniky pro redukci protékajícího proudu. Jako náhrada bylo použito standardní laserové ukazovátka 5 mW. Toto ukazovátka zmíněným regulačním obvodem disponuje a připojení tvrdého zdroje je tedy možné. Ukazovátka 5 mW pro současné experimenty dostačuje. Pokud v budoucnu vyvstane potřeba většího výkonu, plánujeme zakoupit buď profesionální laserový modul, nebo samostatnou laserovou diodu příslušného výkonu spolu s příslušným regulačním obvodem.

Kapitola 4

Optické a mechanické komponenty

Nejčastějším využitím OL je rekonstrukce hologramů a to jak digitálních tak optických. K tomu je zapotřebí konfigurace zobrazená na obrázku obr. 4.1. Konfigurace se skládá ze zdroje laserového záření, mikroskopického objektivu, asymetrické velké čočky a vlastního hologramu.



Obrázek 4.1: Sestava užitá pro rekonstrukci hologramu, která obsahuje zdroj laserového záření (a), mikroskopický objektiv (b), velkou čočku (c) a hologramu (d).

Světelný svazek vycházející z laserového zdroje je obvykle velice úzký. K rekonstrukci hologramu je však nutné, aby svazek osvětlil celou plochu hologramu. Svazek lze buď roztáhnout speciální uzavřenou optickou soustavou nazývanou roztahovač svazku nebo lze použít otevřenou optickou soustavu tvořenou mikroskopickým objektivem, který svazek překříží v ohnisku objektivu, následovaný velkou spojkou, která z divergujícího svazku udělá opět svazek rovnoběžných paprsků. Velikost pak spojky určuje průměr kolimovaného svazku. Svazek pak osvětlí plochu hologramu, čímž se zrekonstruuje výsledný obraz.

Jednotlivé komponenty této soustavy spolu s mechanickými součástmi, které udržují jednotlivé komponenty v požadované poloze, byly objednány u firmy Lao s.r.o. Souhrn zakoupených komponent vyráběných fou. Melles Griot je v tab. 4.1.

Vzhledem k opoždění dodávky o několik týdnů se pak hledalo náhradní dočasné řešení. Oslovili jsme proto KFY FAV, která, jak se ukázalo, disponovala součástmi již vyřazeného spektrometru. Jednalo se o kolejnici, šest jezdců a několik mikroskopických objektivů s různou ohniskovou vzdáleností. Jako spojka byl použit objektiv z vyřazeného projektoru. Dále bylo nutné dohotovit upevnění jednotlivých komponent. To bylo zhotoveno ze dřevěných lišt a papíru, viz např. obr. E.1. Výsledná optická soustava pak poskytovala rovnoběžný svazek paprsků dostatečné kvality umožňující úspěšnou rekonstrukci.

Název	Kat. číslo	Kusů
V-Block Component Holder	07 HVB 703	1
50-mm Optical Rail - 1000 mm	07 ORN 007	1
Optical-Rail Carrier - 25 mm	07 OCN 881	5
Post Holder 12/80 mm	07 PHS 516	5
Post 12/100 mm	07 RMS 004	5
Standard Microscope Objective	04 OAS 014	1
Microscope Objective Holder	07 HMO 001	1
Lens	01 LPX 573	1
Lens Holder	07 LHF 018	1
Filter	03 FNG 061	1
Filter Holder	07 HFU 001	1
Thread Adaptor	07 RAC 506	1

Tabulka 4.1: Zakoupené komponenty pro optickou lavici

Po dodání profesionálních komponent byla sestavena mnohem stabilnější optická soustava, viz obr. E.2. Ta byla ještě doplněna o tři kovové rámečky různých velikostí pro upevnění hologramů. Tyto rámečky umožňují precizní uchycení hologramů a zlepšují tak kvalitu rekonstruovaného obrazu. Rámečky byly zhotoveny na zakázku na Katedře technologie obrábění. Technická dokumentace rámečků a jejich konečná podoba jsou zobrazeny na obr. E.3 a obr. E.4. Příklady výsledků získaných na tomto technickém vybavení jsou k nahlédnutí v příloze F, obr. F.1.

Současné vybavení OL je dostatečné pro rekonstrukci hologramů což je primární účel OL. Avšak pro dalšího inzerovaná využití OL je nutné dokoupit několik dalších komponent. V tomto ohledu je nejnáročnější záznam hologramu typu Leith-Upatnieks [Har96], což vyžaduje dělič svazku a několik zrcadel pro vedení svazku. Také pro zvýšení stability takové optické soustavy by bylo nutné pořídit děrovaný laboratorní stůl s tlumením vibrace okolí.

Kapitola 5

Bezpečnost práce

Bezpečnost práce a manipulace s nebezpečným zářením byla v této zprávě již několikrát zmíněna. Jednalo o zabezpečení místnosti OL zabráněním přístupu nepovolaných osob a vystavením výstražných tabulek. Dále se jednalo o zabezpečení zdroje laserového záření sestrojením uzamykatelného zdroje napětí a dále vybavením místnosti OL optickou izolací. Pro úplnost ještě zbývá vytvoření provozního řádu.

Vzhledem k absenci takového dokumentu na ZČU a nezkušenosti odpovědných pracovníků, bylo řešitelským kolektivem osloveno spřátelené pracoviště University of Aberdeen s žádostí o poskytnutí jejich, aktuálně užívaného, řádu. Poskytnutý řád jsme přeložili a předali Doc. Rusňákovi z KFY FAV ZČU k odborné revizi. Výsledný dokument byl spolu se seznamem pracovníků oprávněných k práci v OL následně odeslán odpovědnému pracovníkovi na ZČU. Oprávnění pracovníci jsou:

- Ing. Martin Janda,
- Ing. Ivo Hanák,
- Ing. Petr Lobaz,
- Prof. Ing. Václav Skala, CSc.

Tito pracovníci byli také podrobeni mimořádné lékařské prohlídce. Současná podoba provozního řádu je v příloze A. Kopie dokumentu schvalujícího provozní řád je přiložena v příloze B.

Kapitola 6

Holografický balíček

V rámci aktivity byl také pořízen Holografický balíček vyráběný fy. Intergraf L.L.C. Ten obsahuje veškeré vybavení po pořízení a vyvolání optického hologramu reflexního typu. Nástroji tohoto balíčku bylo úspěšně vytvořeno několik optických hologramů, které byly použity pro propagaci pracoviště, viz příloha F, obr. F.2. Nadále se předpokládá využití balíčku pro propagační účely a případné experimenty s přenosem hologramu na fyzický materiál.

Balíček předpokládá až silně experimentální podmínky a absenci profesionálního vybavení. Součástí objednaného balíčku je:

- laserová dioda 5 mW s bateriovým napájením a systémem pro uchycení diody,
- sada chemikálií pro přípravu vyvolávacích roztoků,
- sada skleněných fotografických desek 5×6 cm opatřená fotocitlivou emulzí,
- návod na přípravu roztoků, postup při expozici fotografického materiálu a návod na vyvolání,
- další drobné pomůcky.

Kapitola 7

Závěr

Aktivitu 7ZHO07 lze prohlásit za splněnou. Byly naplněny všechny cíle, které byly v rámci aktivity stanoveny. Technické zázemí holografické skupiny je nyní na úrovni, která umožňuje ověřovat výsledky syntetizačních metod a provádět další jednodušší experimenty s difrakcí světla. Byly položeny pevné základy pro případné rozšíření vybavení OL, které rozšíří paletu prováděných experimentů.

Literatura

[Har96] P. Hariharan. *Optical Holography: Principles, techniques and applications*. Cambridge University Press, 2nd edition, 1996.

[Las] Fact sheet: Laser safety. WWW http://ehs.uky.edu/radiation/laser_fs.html.

[Nar] Nařízení vlády č. 21/2003.

Dodatek A

Provozní řád OL

PROVOZNÍ ŘÁD PRO LASEROVOU LABORATOŘ OBEČNÁ PRAVIDLA PRÁCE

1. Každý pracovník musí být prokazatelně seznámen s tímto provozním řádem, s manuály zařízení a přístrojů a musí mít potřebnou elektrotechnickou kvalifikaci.
2. Případné používání tlakových lahví, toxických chemikálií a plynů musí být v souladu s příslušnými bezpečnostní předpisy, které jsou přílohou tohoto provozního řádu.
3. Experimentální sestava a postup práce musí vždy být schváleny vedoucím laboratoře nebo jím pověřeným pracovníkem.
4. Na zapnutý zdroj laserového záření musí na vstupu do místnosti upozorňovat světelné signální zařízení a písemné varování.
5. Při laserových experimentech mohou být v laboratoři pouze osoby povolané (schválené vedoucím laboratoře).
6. Návštěvy laboratoře a jejich přítomnost při experimentech musí být povoleny vedoucím laboratoře.
7. Počet návštěvníků je nutno maximálně omezovat, všichni musí být seznámeni s bezpečností práce a chráněni před účinky laserového záření.
8. Všechny přítomné osoby musí při experimentech používat ochranné pomůcky (ochranné brýle).
9. Jsou zakázány experimenty samostatně prováděné jediným pracovníkem, v laboratoři musí být vždy přítomni minimálně dva lidé.
10. Je nutno stále udržovat čistotu a volný prostor k pohybu po laboratoři.

SPECIFICKÁ BEZPEČNOSTNÍ PRAVIDLA PRO PRÁCI S LASEREM A OPTICKÝMI SYSTÉMY

1. Ještě před zapnutím laseru musí mít všechny přítomné osoby nasazeny ochranné pomůcky (ochranné brýle) a musí si je tak ponechat až do ukončení experimentů (do vypnutí laseru).

2. Je nutno používat ochranné brýle určené pro použitou vlnovou délku zdroje laserového záření a s vhodnými tlumícími účinky, aby nebylo nutné brýle snímat během práce.
3. Zdroj laserového záření je nutno zapínat na nejnižší možný výkon.
4. Při zapínání zdroje laserového záření chlazeného vodou nebo vzduchem se nejdříve zapíná chlazení, pokud je chlazení vypnuto, nesmí se zdroj zapnout.
5. Při vypínání chlazeného zdroje laserového záření se chlazení vypíná jako poslední.
6. Při činnosti laseru je zakázáno otevírat jeho kryty, kryty elektrických zdrojů a zařízení, případně manipulovat s tlakovými lahvemi.
7. Při chodu laseru je vstup do laboratoře povolen pouze na výzvu práci provádějících pracovníků.
8. Je zakázáno mířit zdrojem laserového záření na lidi.
9. Je zakázáno dívat se do laserového paprsku a to ani do paprsku odraženého, nebo rozšířeného.
10. Dráhu laserového paprsku v experimentu je nutno omezit, jak je to jen nejvíce možné.
11. Zajistěte, aby nebylo možné zasáhnout paprskem oči, ať již přímo, či pomocí optických prvků, např. zrcadel, čoček, atd.
12. Zajistěte, aby laserový paprsek nikdy nedosahoval výše očí.
13. Nikdy se neohýbejte na úroveň paprsku.
14. Zajistěte, aby laserový paprsek, ani odražený, nemohl proniknout mimo prostor laboratoře.
15. Při vkládání zrcadla do paprsku vždy začněte s zrcadlem otočeným odrazivou plochou k podložce.
16. Nikdy nemanipulujte se zrcadlem, pokud není jisté, kam bude paprsek odražen.
17. Při použití pulzních zdrojů laserového záření (např. rubínový nebo Nd-YAG)
 - varujte před iniciací zdroje laserového záření přítomné osoby a odpočítejte nahlas čas do spuštění,
 - zamezte při použití konkávních čoček zaměření paprsku do jednoho místa, neboť toto může zdroj laserového záření při zpětném odrazu poškodit,
 - umístěte (např. při použití konkávních čoček s plochou stranou) čočku tak, aby byla natočena vypouklou částí ke zdroji laserového záření.
18. Při použití vysoce výkonných plynných zdrojů laserového záření (např. Ar, CO_2)
 - neumísťujte vysoce odrazivý (blyštivý materiál jako např. měď nebo hliník) do cesty paprsku, pokud to není nezbytnou součástí experimentu s tímto materiálem,
 - neumísťujte materiál, který by mohl poškodit čočky jako např. dřevo, plexisklo nebo jiné křehké materiály do cesty paprsku.

Dodatek B

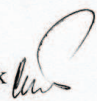
Schválení provozního řádu OL

Ing. Ivo Hanák
KIV

Věc : Provozní řád

Provozní řád pro laserovou laboratoř vyhovuje platným normám (nařízení vlády č. 480/2000 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením, Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/25/ES z 5.4.2006 o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (optickým zářením z umělých zdrojů)). Tímto považuji Vámi zpracovaný provozní řád za schválený.

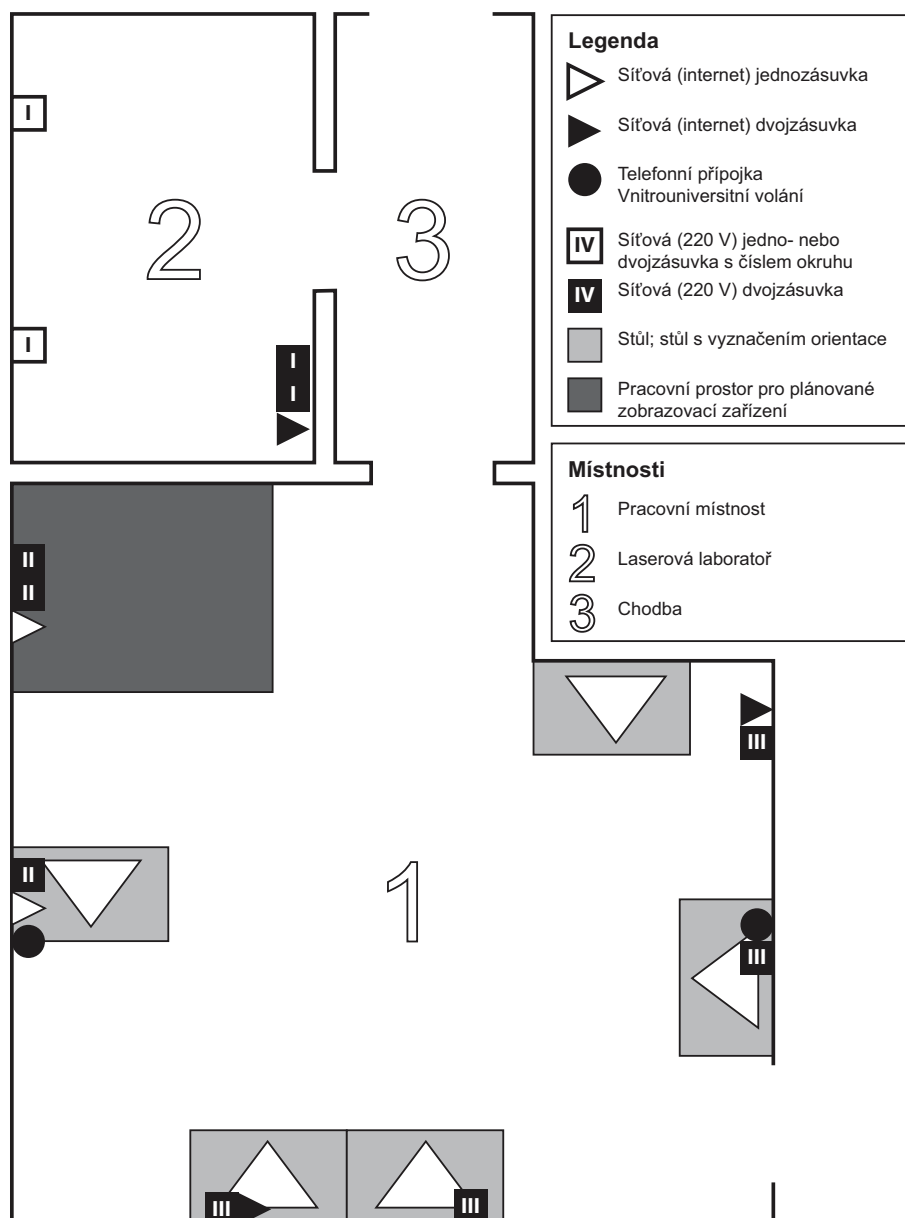
V Plzni 18. 12. 2007

Ing. Miroslav Čížek 
PER
Západočeská univerzita
v Plzni
referát BOZP

Dodatek C

Úpravy místnosti UV216

Orientační plán



Poznámky k orientačnímu plánu

Elektroinstalace (bez osvětlení)

- Uvedené rozložení zásuvek 220V je minimální nutné. Pokud stávající elektroinstalace splňuje přibližně rozložení, není nutné přesouvat nebo rušit zásuvky.
- Schéma na straně 2 nezahrnuje zásuvky a okruhy nutné pro vytápění, klimatizaci, osvětlení a zabezpečení. Pokud budou tyto zařízení realizovány je žádoucí, aby byly, z důvodů spotřeby, umístěny na samostatný okruh.
- Nutné provést zakrytování vývodu 380V a uzemnění nacházející se v chodbě 3.
- Celkové předpokládané zatížení elektroinstalace bez klimatizace, topení, světel a zabezpečení:
 - Zásuvkový okruh I: Laserová laboratoř (1100 W)
 - * 1× Zdroj laserového záření (j 100 W)
 - * 1× Počítač (1000 W)
 - Zásuvkový okruh II: Pracoviště zobrazovacího zařízení (2000 W)
 - * 1× Počítač (1000 W)
 - * 1× Zobrazovací zařízení (cca 1000 W)
 - Zásuvkový okruh III: Hlavní pracoviště (5000 W)
 - * 3× Počítač (3000 W)
 - * 1× Laserová tiskárna (1000 W)
 - * 1× Drobné spotřebiče (varná konvice, ...) (1000 W)

Zabezpečení

- Všechny místnosti budou vybaveny pohybovým čidlem.
- Předpokládá se v budoucnu doplnění kamerovým systémem pro místnost 1.
- Oba vstupy budou vybaveny možností přístupu pomocí JIS karty. Síťové připojení
- Předpokládá se osazení switchu do místnosti 2, který umožňovat připojení všech zásuvek v místnosti 1.
- Všechny zásuvky v místnosti 1 budou připojeny skrze switch v místnosti 2, čímž se uspoří na materiálu i práci nutnou pro zapojení. Telefonické připojení
- Jedná se pouze o interní telefon.
- Celá místnost bude dostupná pomocí jednoho čísla. Jednotlivé přípojky nebudou číselně rozlišitelné.

Doplňující požadavky na úpravu místností

- Stávající přídka s přepážkami v místnosti 1 bude demontována.

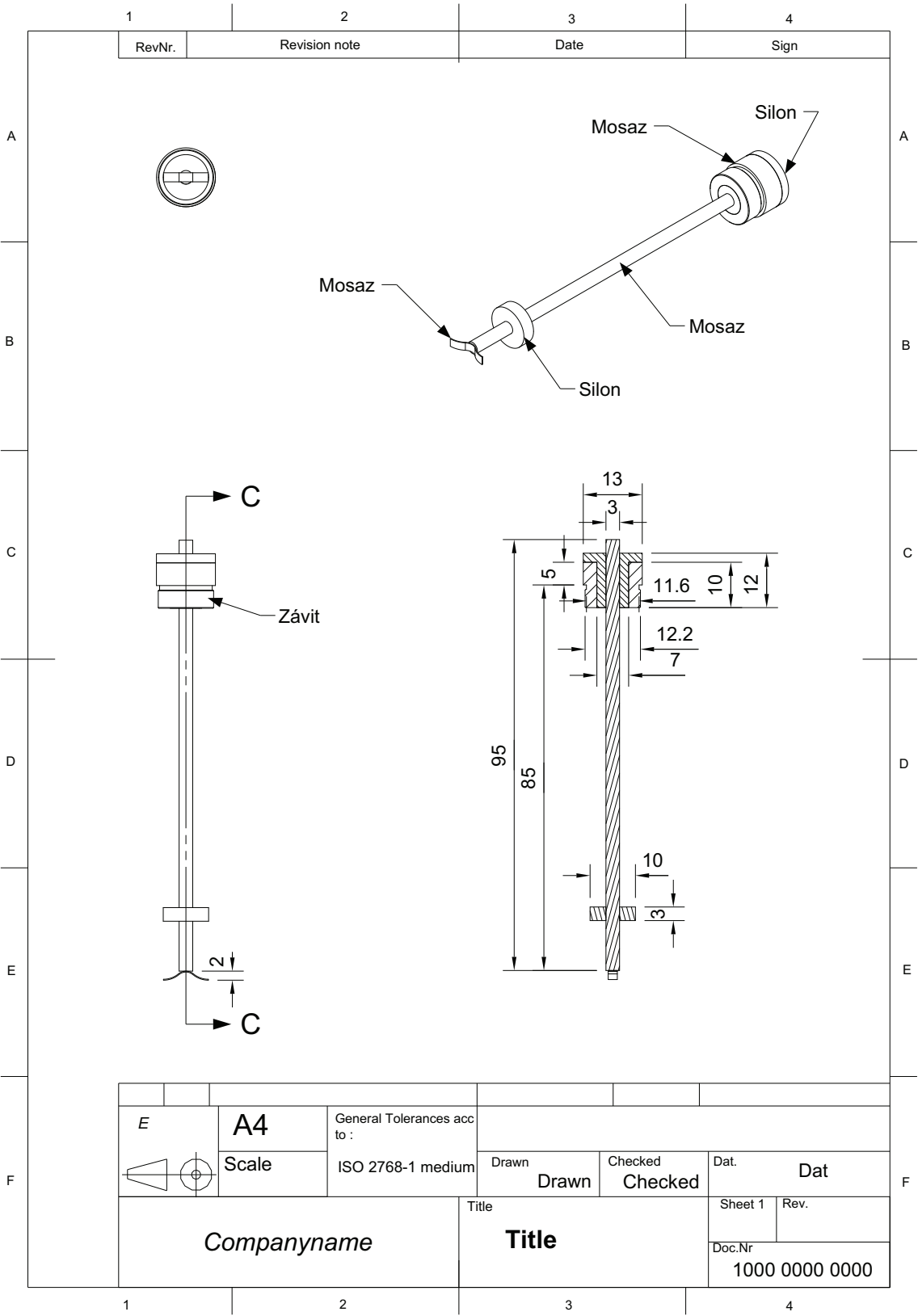
- Vzhledem k stavu podhledu je nutné provést rekonstrukci podhledu v dostatečné kvalitě tak, aby bylo umožněno případně přistupovat k prostorám zakrytým podhledem a provádět opravy bez nutnosti stavebních prací či destrukce podhledu.
- Vzhledem k provedené rekonstrukci podhledu je nutné dostatečně osvětlit prostor tak, aby osvětlení odpovídalo platným normám pro činnost zde zamýšlenou, tj. kancelářskou a vývojově-výzkumnou činnost po plných 8 hodin pracovní doby.
- Vzhledem k úpravám osvětlení je nutné, aby bylo možné ovládat světlo ze všech přístupů pomocí přepínačů, týká se místnosti 1 a 3.
- Vzhledem k stáří podlahy je vhodné provést výměnu lina.
- Vzhledem ke stavu malby na stěnách a stěn samotných je nutné provést začistění dřer po hmoždinkách a vymalování prostor standardní bílou barvou.
- Vzhledem k charakteru prostor (bez oken) a jejího využití je nutné doplnit místnost o klimatizaci dle předpokládaného instalovaného výkonu a zajistit odvětrávání.
- Vzhledem k velikosti místnosti 1 je vhodné ji doplnit ještě jedním topením (žebry) napojeným na centrální rozvod topení budovy. Nově přidané topení bude umístěno tak, aby byla zajištěna správná cirkulace a ohřev v místnosti 1. Zásadně není možné umístit přidané topení do levého horního rohu (na orientačním plánu, strana 2) místnosti 1, neboť zde se bude na ploše cca 2×3 m nacházet zobrazovací zařízení.

Dodatek D

Zdroj laserového záření



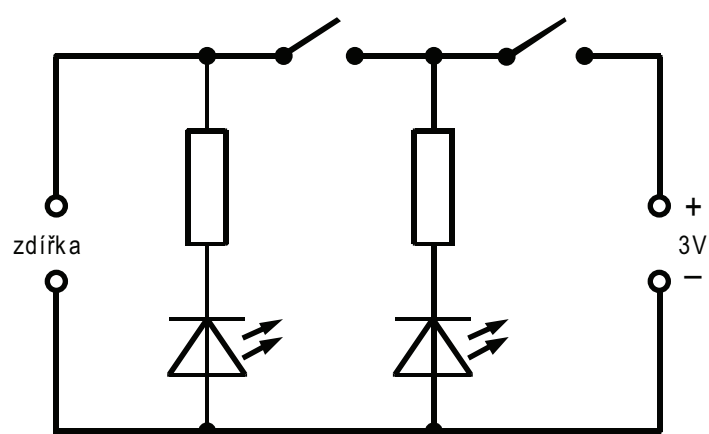
Obrázek D.1: Zdroj laserového záření, 100 mW (nahore) a 5 mW (dole).



Obrázek D.2: Návrh nástavce pro napájení laserového ukazovátka v původním pouzdře externím zdrojem.



Obrázek D.3: Konečná forma napojení, viz obr. D.2, vyhotovená v dílnách ZČU.



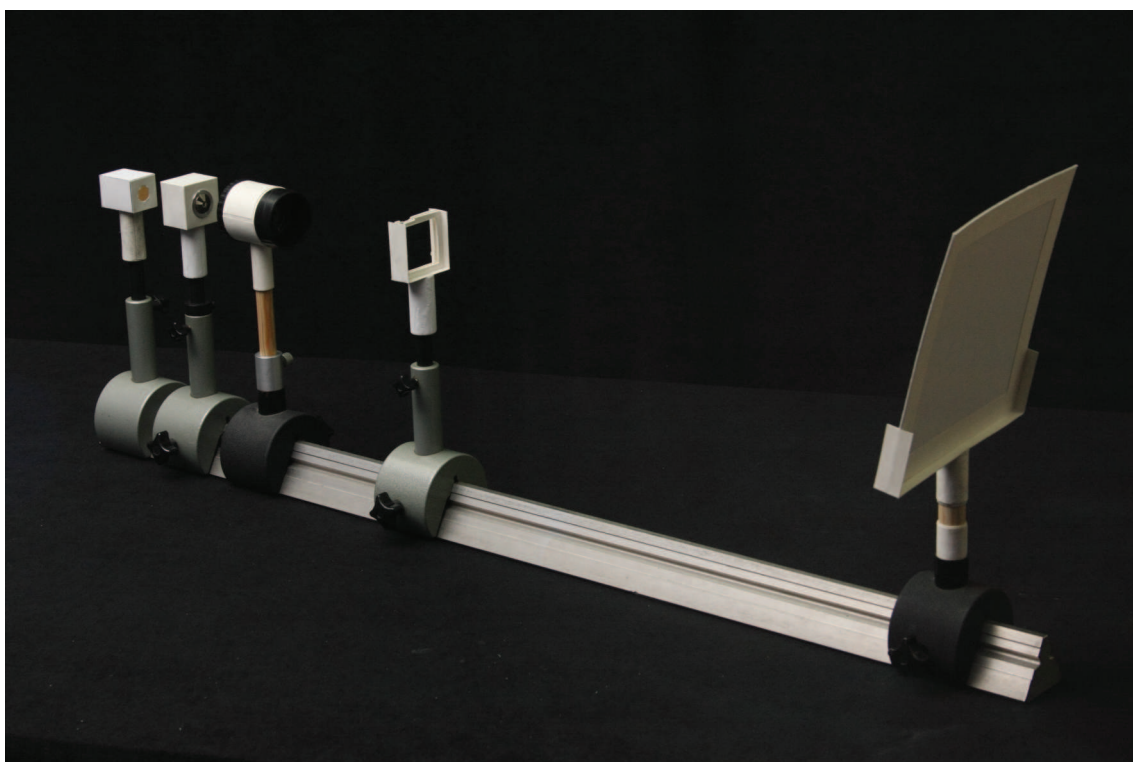
Obrázek D.4: Schéma nízkonapěťové části uzamykatelného zdroje pro zdroj laserového záření.



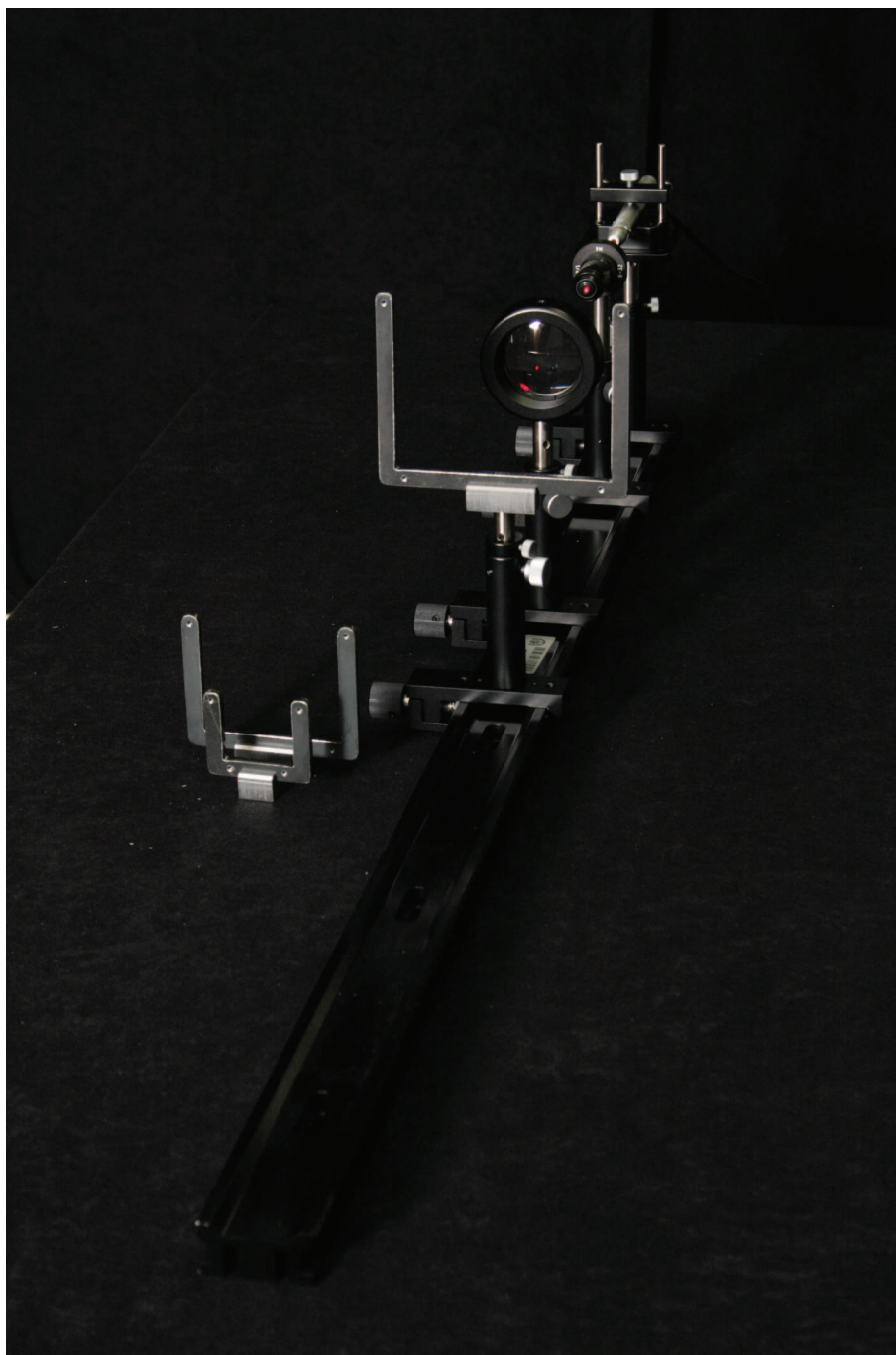
Obrázek D.5: Konečná forma uzamykatelného zdroje pro zdroj laserového záření.

Dodatek E

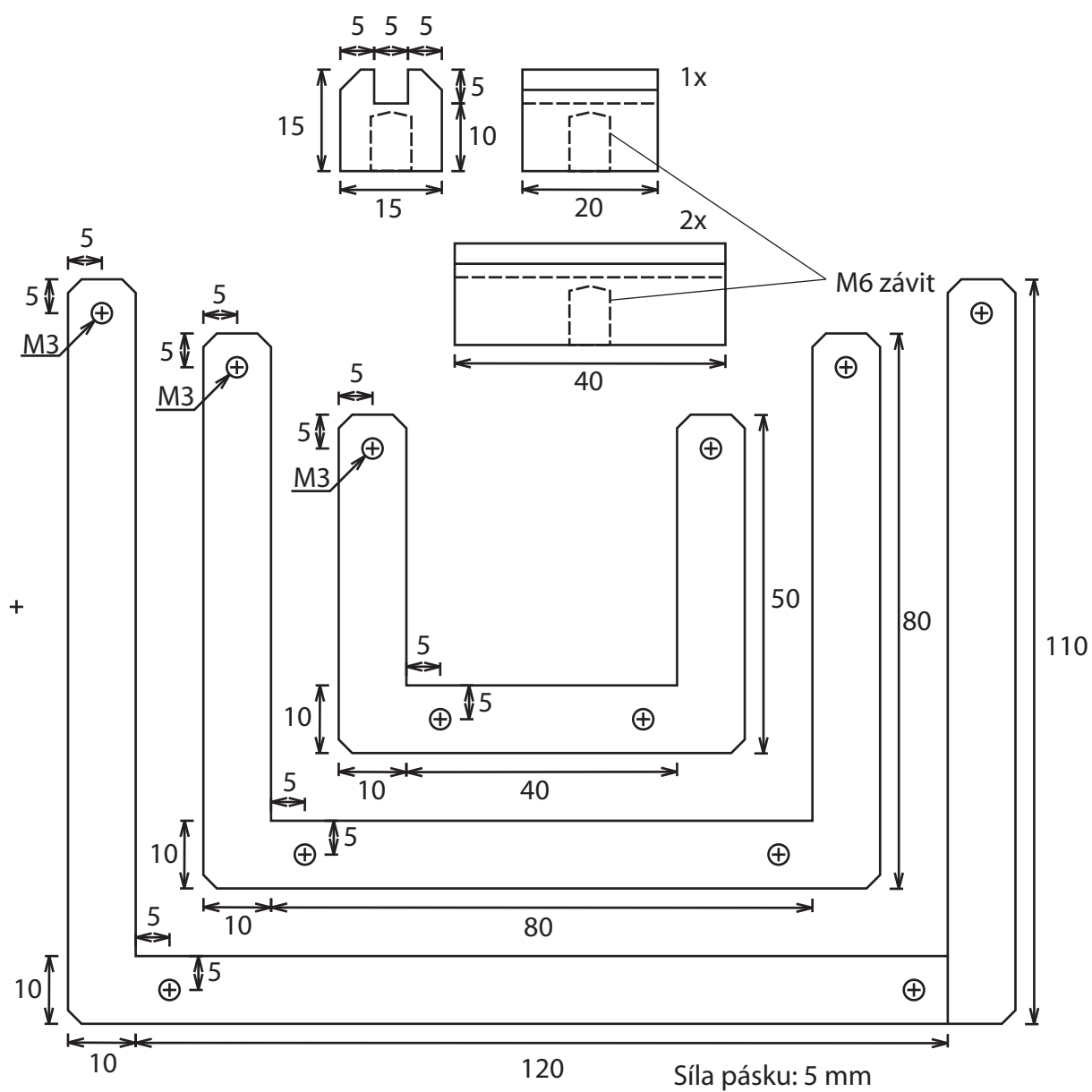
Optická lavice



Obrázek E.1: Optická lavice a dílce založené na vyřazených součástech spektrometru poskytnutých KFY FAV ZČU. V pořadí zleva doprava: úchyt pro zdroj laserového záření, mikroskopický objektiv, kolimační čočka, úchyt na hologram, průmětna.



Obrázek E.2: Optická lavice vyrobená fy. Melles Griot. V pořadí odzadu dopředu: úchyt pro zdroj laserového záření a zdroj laserového záření, mikroskopický objektiv, kolimační čočka, úchyt na hologram.



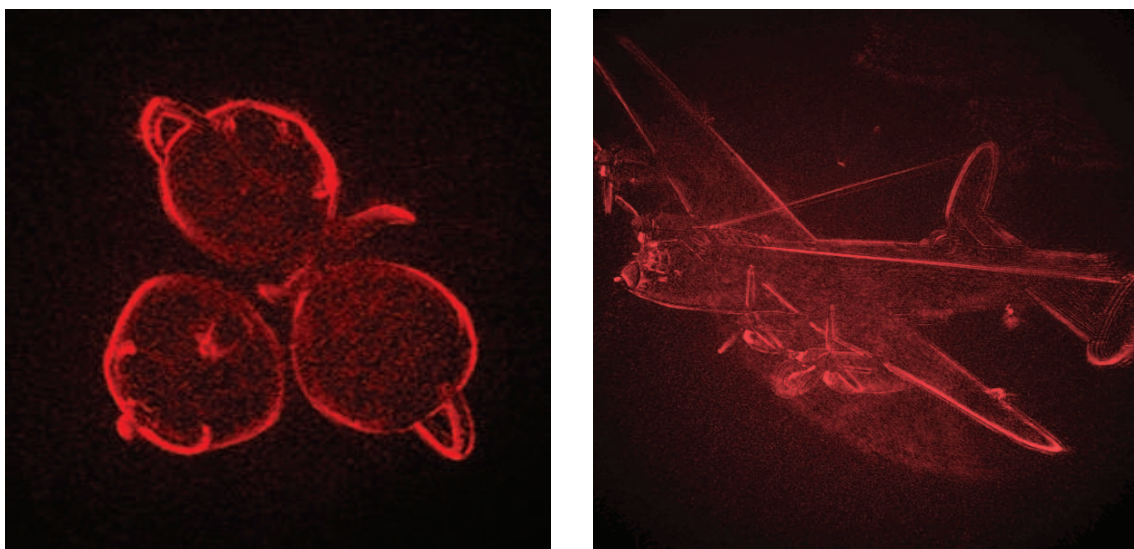
Obrázek E.3: Návrh těl rámečku pro uchycení hologramu.



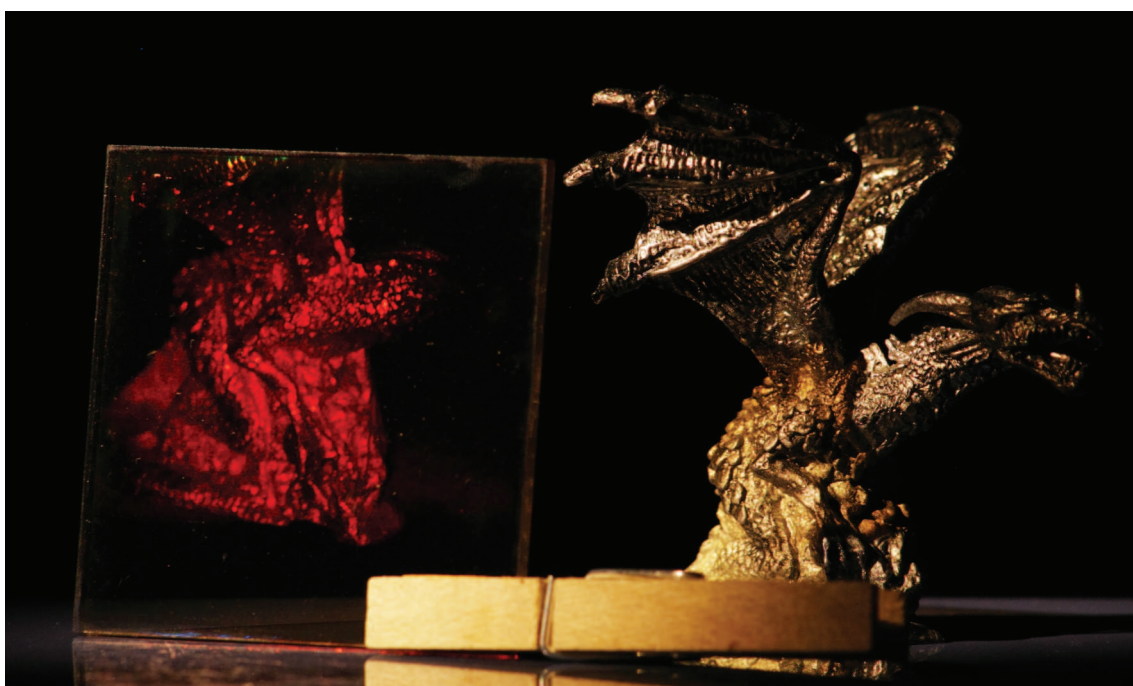
Obrázek E.4: Vyrobená těla rámečků pro uchycení hologramu.

Dodatek F

Optické rekonstrukce



Obrázek F.1: Optická rekonstrukce binárních hologramů provedená pomocí optické lavice.



Obrázek F.2: Optická rekonstrukce reflexního hologramu běžným světlem (vlevo) a původního objektu (vpravo).

Seznam obrázků

4.1	Sestava užitá pro rekonstrukci hologramu, která obsahuje zdroj laserového záření (a), mikroskopický objektiv (b), velkou čočku (c) a hologramu (d).	4
D.1	Zdroj laserového záření, 100 mW (nahore) a 5 mW (dole).	16
D.2	Návrh nástavce pro napájení laserového ukazovátka v původním pouzdře externím zdrojem.	17
D.3	Konečná forma napojení, viz obr. D.2, vyhotovená v dílnách ZČU.	18
D.4	Schéma nízkonapěťové části uzamykatelného zdroje pro zdroj laserového záření.	18
D.5	Konečná forma uzamykatelného zdroje pro zdroj laserového záření.	19
E.1	Optická lavice a dílce založené na vyřazených součástech spektrometru poskytnutých KFY FAV ZČU. V pořadí zleva doprava: úchyt pro zdroj laserového záření, mikroskopický objektiv, kolimační čočka, úchyt na hologram, průmětna.	20
E.2	Optická lavice vyrobená fy. Melles Griot. V pořadí odzadu dopředu: úchyt pro zdroj laserového záření a zdroj laserového záření, mikroskopický objektiv, kolimační čočka, úchyt na hologram.	21
E.3	Návrh těl rámečku pro uchycení hologramu.	22
E.4	Vyhotovená těla rámečků pro uchycení hologramu.	23
F.1	Optická rekonstrukce binárních hologramů provedená pomocí optické lavice.	24
F.2	Optická rekonstrukce reflexního hologramu běžným světlem (vlevo) a původního objektu (vpravo).	25

Seznam tabulek

4.1 Zakoupené komponenty pro optickou lavici	5
--	---